中国生态农业学报 2016年2月 第24卷 第2期
Chinese Journal of Eco-Agriculture, Feb. 2016, 24(2): 201−209

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.151048

不同年限有机种植与常规种植农业资源综合利用效率对比*
——以湖北省水稻种植为例

伍玉鹏[1,2] 陈远新[3] 吴中波[3] 胡荣桂[1,2**]

(1. 华中农业大学资源与环境学院 武汉 430070; 2. 农业部长江中下游耕地保育重点实验室 武汉 430070; 3. 中国质量认证中心武汉分中心 武汉 430077)

摘 要 为了深入分析有机农业在资源利用方面相比于常规农业的优势及特点，本研究在综合分析已有评价指标体系的基础上，结合水稻种植的农业生产过程分析和有机农业特点，建立了适用于有机、常规水稻种植的农业资源利用效率评价指标体系，并以湖北省水稻种植为例，开展了不同年限有机种植与常规种植农业资源利用的评价调查。指标体系以气候资源、水资源、土地资源、生物资源、人工投入和资源可持续性作为评价要素，共包含18个评价指标。评价结果显示，有机种植由于较低的生物产量导致其在气候资源和土地资源上的得分普遍低于常规种植。但在水资源、生物资源、人工投入和资源可持续性评价要素上，有机种植得分明显高于常规种植。总体来看，小于3 a的有机水稻种植样本资源利用评价得分为0.867，与常规种植得分相当(0.857)；但随着有机种植年限的增加，其评价得分逐渐提高(3~6 a有机种植样本评价得分为0.927)，当有机种植>6 a时评价得分为0.976，比常规种植得分提高14%。研究表明，有机农业在资源利用效率方面优于常规农业，但这种差异在有机种植前期并不明显，随着种植年限的不断延长有机模式在资源利用方面的优势逐步显现。

关键词 有机种植 常规种植 水稻栽培 农业资源 综合利用效率
中图分类号: X37 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2016)02-0201-09

Efficiency analysis of comprehensive utilization of agricultural resources under organic and conventional agricultures*
— A case study of rice cultivation systems in Hubei Province

WU Yupeng[1,2], CHEN Yuanxin[3], WU Zhongbo[3], HU Ronggui[1,2**]

(1. College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 2. Key Laboratory of Arable Land Conservation (Middle and Lower Reaches of Yangtze River), Ministry of Agriculture, Wuhan 430070, China; 3. China Quality Certification Center, Wuhan Branch, Wuhan 430077, China)

Abstract The aim of organic agriculture is to augment ecological processes which foster plant nutrient uptake and conserve soil and water resources by eliminating agrochemicals and reducing other external inputs. However, the superiority of organic agriculture in terms of resources utilization is still unclear. Thus this study established an evaluation index system of agricultural resources utilization efficiency and used it to compare the properties of agricultural resources utilization between conventional and organic rice cultivation systems. In the first case, the study systematically analyzed resources behavioral patterns under rice cultivation processes and the existing evaluation index system. In the analysis, 6 evaluation factors (including 18 indices) were selected for the evaluation index system. The Delphi method and Analytic Hierarchy Process (AHP) were used to determine weight coefficient of each index. The weight coefficient of climate resources factors was 16%, which

* 国家科技支撑计划项目(2014BAK19B00)资助
** 通讯作者: 胡荣桂，主要从事土壤过程与环境效应及环境生态学研究。E-mail: rghu@mail.hzau.edu.cn
伍玉鹏，主要从事土壤生态学研究。E-mai: wyp19851205@126.com
收稿日期: 2015−09−26 接受日期: 2015−12−03

* This study was supported by the National Key Technologies R & D Program of China (No. 2014BAK19B00).
** Corresponding author, E-mail: rghu@mail.hzau.edu.cn
Received Sep. 26, 2015; accepted Dec. 3, 2015

included light use efficiency, heat use efficiency and rain use efficiency. The weight coefficient of water resources factors was 19%, which included irrigation index and water productivity index. Land resources factors (including reclamation rate, land productivity and multi-cropping index) had the highest weight coefficient (24%) in the evaluated index system. The weight coefficient of biotic resources factors was 19%, which included the Shannon-wiener index, economic yield and straw return rate. Labor cost factors (including input-output ratio, labor productivity, scientific technology contribution and agricultural commodity rate) accounted for 16% of the weight coefficient system. Resources sustainability factors (including soil nutrient balance, water environmental quality and resource stability) gave the lowest weight coefficient (10%) in the evaluated index system. In the second case, an empirical analysis was carried out in Hubei Province using the index system to compare resource utilization efficiency between organic and conventional rice cultivation systems in different years. Some 39 samples, which included 8 organic rice cultivation samples (4 samples from organic certification under 3 years, 1 sample from organic certification over 6 years, 4 samples from organic certification for 3 to 6 years) and 31 conventional rice cultivation samples, were used in the analysis. The results showed that the scores of organic cultivation for climate and land resources were lower than that of conventional cultivation. This was attributed to the lower biomass yield in organic cultivation; and the much higher scores of organic cultivation for water resources, biotic resources, labor cost and the related sustainability. Generally, the evaluation score of comprehensive utilization of resources of the 3-year organic rice cultivation was 0.867, similar to that of conventional rice cultivation (0.857). However, the evaluation score increased gradually with cultivation time (the evaluation score of 3 to 6 years organic cultivation was 0.927) and peaked (0.976) in over 6 years organic cultivation, which represented an increase of 14% compared with conventional cultivation. The results suggested that organic agriculture was superior to conventional agriculture in terms of resource utilization efficiency, but this difference was not obvious in the early stages of organic cultivation. The comprehensive utilization efficiency of resources of organic model developed in this study would be more applicable after long-term cultivation.

Keywords Organic agriculture; Conventional agriculture; Rice cultivation; Agricultural resource; Comprehensive utilization efficiency

常规农业(conventional agriculture)是在农业现代化过程中逐步形成的以系统开放性、资源高投入和生产高效率为基本特征的农业发展模式。常规农业高投入、高能耗的生产模式虽然给人类带来了高度发达的劳动生产率和丰富多样的农产品，但同时也导致了有限农业资源的巨大浪费[1−2]。由于建立在资源巨大消耗和环境破坏的基础上，并以投入产出进行成本核算，常规农业“高效”的意义殆尽，并因此被怀疑没有可持续性[3]。

有机农业(organic agriculture)指遵循可持续发展原则，按照有机农业基本标准，在生产过程中完全不用人工合成的肥料、农药、生长调节剂和家畜饲料添加剂，不采用基因工程技术及其产物，而是遵循自然规律和生态学原理，协调种植业和养殖业的平衡，采用一系列可持续发展的农业技术，维持持续稳定的农业生产过程[4]。与常规农业相比，有机农业系统旨在保持和提高土壤肥力和保护生态环境，并更加重视系统内部物质的循环利用，通过遵循可持续发展的原则，在生产过程中尽量减少外部投入，而主要依靠自然规律和法则提高生态循环效率[4−5]。因此，从理论上来看有机农业在农业资源高效利用方面要优于常规农业。虽然目前已有较多关于有机农业的研究，但大部分集中在其对生态环境的影响[5−7]、发展对策[4,8]及有机认证[9−10]方面，却很少有研究深入分析有机农业在资源利用方面相比于常规农业的优势及特点。

指标体系评价方法是目前农业资源利用效率研究中较基础且常用的方法，它通过制定适当的度量指标，并依据指标间的相关关系，形成有序而全面的评价系统，从而定量反映和衡量农业资源利用的有效性状况，识别和诊断不同地区、不同类型和不同模式农业生产和再生产过程中的限制性因素及其制约程度，并藉以勾绘出农业发展的资源利用基本轮廓[11]。国内已有较多学者建立了农业资源利用效率评价指标体系，并开展了相应的实证研究，例如李道亮等[12]从农业资源高效利用的基本内涵入手，基于资料来源和计算的可行性提出了农业资源综合利用效率评价指标体系和辅助指标体系；徐勇[11]则将农业生产过程系统划分为农业经济生产过程和农业自然生产过程，并从农业自然资源的本底、潜力和效率方面，以及农业社会经济的投入和利用效率方面分别建立评价指标体系；谢高地等[13]则从资源利用效率、资源利用社会满足程度、经济、环境和可持续 5 个类别建立评价指标体系。

本文以湖北省水稻种植为研究对象，结合水稻种植的农业生产过程分析，在前人研究的基础上构

建适用于有机和常规水稻种植的农业资源综合利用效率评价指标体系，并通过实证研究探索不同年限(3 a 以内、3~6 a 及 6 a 以上)有机水稻种植在农业资源可持续利用方面所具备的优势和特点。

1　研究区概况及数据来源

湖北省是我国水稻主产区，在湖北粮食生产中，水稻面积占 50%以上，产量占 70%，商品粮占 80%，是仅次于湖南、江西的第三大水稻大省[14]。由于湖北省地处南北过渡地带，光、温、水等资源充足，水稻品种类型丰富，耕作制度多样，因此水稻形成了早、中、晚熟期配套，籼、粳、糯稻并存的格局。为了降低因调查区域不同带来的数据变异，本研究选取全省双季稻集中产区——鄂东丘陵岗地双季稻区为调查对象，该区包括团凤、浠水、蕲春、武穴、黄梅、新州、黄阪、大冶、鄂州、孝南、孝昌 11 个县市，共有耕地面积 47 万 hm^2，其中水田 33 万 hm^2，占耕地面积的 70%。稻谷总产量占全年粮食总产量的 85%。年平均气温 16.2~17.0 ℃，年活动积温 5 200 ℃以上，年降雨量平均 1 100 mm 以上。

研究采用 2013—2014 年的数据进行分析。随机选择研究区域已获得有机认证的水稻种植企业，通过分析有机企业的种植操作规程及农事记录，以及田野观察、企业有机内部检查员访谈相结合的方式获得有机水稻种植过程中的资源利用数据；在所调查水稻种植企业周边随机选取常规稻田，采取入户问卷调查和田野观察相结合的方法获得常规水稻种植过程中的资源利用数据。常规及有机稻田土壤及水体理化性质采用现场取样，实验室测定的方法获得。气象数据来源于中国气象科学数据共享服务网和中国气象数据网。本研究共调查 70 家企业或农户，在剔除无效样本后，实际有效样本数为 39，其中有机水稻种植样本数为 8(样本中获得有机认证时间小于 3 a 的样本数为 4，3~6 a 的样本数为 3，大于 6 a 的样本数为 1)，常规水稻种植样本数为 31。

2　研究方法

建立科学可行的评价指标体系，对农业资源利用效率评价起着至关重要的作用。本研究综合分析已有的指标体系[11−13,15−20]，结合调查区农业生产过程系统分析(图1)，构建农业资源利用效率评价体系框架(图2)，通过客观实际分析在已有指标体系的基础上去除与本研究无关的指标及重叠指标，增加水稻种植特色评价指标，并初步拟定评价指标体系。最后广泛征集调查地农户、企业以及农业专家的意见，采用专家咨询和主成分分析法对指标体系进行优化，建立科学合理并符合调查区实际农业发展状况的具有可操作性的评价指标体系。

各指标体系权重系数采用德尔菲法和层次分析法相结合的方式获得。通过多次问卷征求专家意见，采用 Satty's 法将下级若干评价指标关于上级指标的重要性程度采用成对比较法赋值，构建判断矩阵，利用几何平均法确定权重并对判断矩阵进行一致性检验，农业资源综合利用效率的评价指标体系及其权重见表 1。该过程采用层次分析法软件 yaahp V7.5 完成。各指标的评价方法采用具体数值计算与主观打分相结合的方式，以同时兼顾评价结果的准确性与评价过程的可操作性。

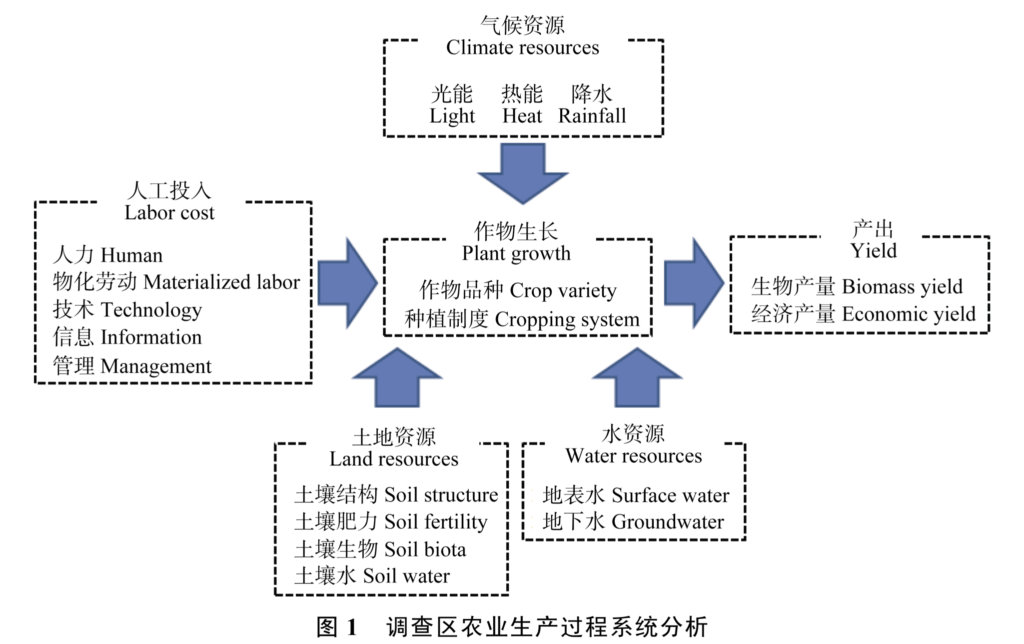


图 1　调查区农业生产过程系统分析

Fig. 1　Systematic analysis of the agricultural production process in the investigated area

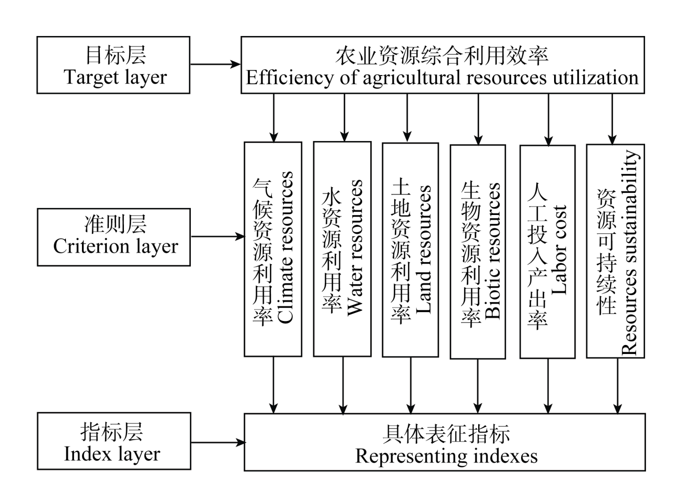


图 2 农业资源综合利用效率评价体系框架

Fig. 2 Framework of evaluation system for comprehensive use efficiency of agricultural resources

依据评价指标体系，采用多因素综合评价模型对常规、有机种植模式下的农业资源综合利用效率进行评价[21]，其公式表达为：

$$P=\sum_{i=1}^{m}W_i\times\left(\sum_{j=1}^{n}W_{ij}\times x'_{ij}\right) \tag{1}$$

式中：P 为农业资源综合利用效率评价分值，W_i 为准则层因素 i 的权重，W_{ij} 为准则层 i 因素指标层 j 指标的权重，x'_{ij} 为准则层 i 因素指标层 j 指标的标准化数值。

为了消除不同评价指标量纲对评价结果带来的影响，在进行农业资源综合利用效率评价分值计算前，对各指标进行同向化处理，随后采用线性变化标准公式对各指标进行数据标准化处理，其公式为：

$$y_{ij}=\begin{cases} x_{ij}/x_j & \left(x_j=\max\limits_{1\leqslant i\leqslant m},\ x_{ij}\neq 0\right) \quad \text{正向指标} \\ x_j/x_{ij} & \left(x_j=\max\limits_{1\leqslant i\leqslant m},\ x_{ij}\neq 0\right) \quad \text{逆向指标} \end{cases} \tag{2}$$

式中：y_{ij} 为指标标准化数值；x_{ij} 为指标原始数值。

3 结果与分析

农业资源是指农业在自然再生产和经济再生产过程中所涉及到的自然资源和社会经济资源的总称。土地、土壤、气候等自然资源因素直接影响着植物的生长过程，属于农业自然资源[11]。土地提供植物的生长空间，土壤提供养分和水分，气候提供光能、热量和降水补给。因此，在建立的评价体系中，气候资源、土地资源和水资源均占有较高的评价要素权重(分别为16%、24%和19%)(表 1)。

3.1 气候资源利用效率

评价结果显示，有机水稻种植气候资源评价要素得分随有机种植年限的增加而逐渐提高(小于 3 a、3~6 a 及大于 6 a 有机种植得分分别为 0.131、0.143 和 0.156)，却均低于常规种植(得分为 0.160)，这同时表现在光能利用率、热量产出率和降水产出率 3 个方面(表 2)。由于本研究将调查区域限定在一个相对较小的范围内，气候差异不大，因此，稻米产量成为影响气候资源利用效率的主要因素。产量问题一直是世界农业面临的最主要问题，从有机农业诞生开始，有机种植模式下的作物能否高产就备受关注。本研究中所调查样本有机稻米年均产量约为 8.0 $t\cdot hm^{-2}$，仅为常规种植水稻产量的 87%，这与已有的一些研究结果一致[22-23]。然而，也有报道称有机种植产量高于常规种植[24-25]。需要注意的是，调查区发展有机水稻种植的年限较短，而有机农业产量低的观点则大多建立在有机种植开始后几年内与常规种植产量的比较上。有机种植体系是一种人工控制下的快速生态系统变化过程，它需要一定的时间才能达到稳定的状态，因此在从建立到平衡的转化期，产量必然受到有机种植体系内外多种因素的影响[26]。一般认为，在有机种植体系建立的 2~5 a 内作物产量有较大波动并低于常规，5 a 之后，有机种植的产量趋向稳定，且不易受到外界因素的影响，抗不良气候、病虫害的能力变强[26]。该观点也与本研究的结果一致，即随着有机种植年限的延长，稻米产量得到逐步提高。这也意味着，随着有机种植持续进行，湖北省有机水稻种植在气候资源利用效率上的评价分值有望得到逐步提高。

3.2 水资源利用利率

在水资源评价要素上，小于 3 a、3~6 a 及大于 6 a 有机种植得分分别为 0.171、0.171 和 0.187，而常规种植得分为 0.170。常规水稻多为散户种植并采取淹水方式灌溉，而有机种植多为公司+农户的模式，由于能够进行统一规划且资金更为充足，有机水稻种植通常设计有节水灌溉设施，并能够进行更为精细的管理，比如采用“湿润灌溉”或“间歇灌溉”等方式，这直接反应为有机水稻种植下更高的灌溉指数(表 2)。相关研究结果表明，采用“湿润灌溉”和“间歇灌溉”，水稻耗水量比传统淹水灌溉减少 32%，但产量几乎相同[27]。然而，本研究中采用新灌溉技术的有机水稻种植水分生产率并未高于常规种植，这仍可归结于有机种植较低的稻米产量。

土地资源评价要素通过垦殖指数、土地生产率和复种指数 3 个指标进行评价(表 1)。评价结果得分从大到小依次为大于 6 a 的有机种植(0.232)、常规种植(0.224)、3~6 a 有机种植(0.221)和小于 3 a 的有机

表 1　农业资源综合利用效率评价指标体系及其权重

Table 1　Evaluation indexes and their connotations, weights of comprehensive utilization efficiency of agricultural resources

评价要素(权重) Factor (weight)	评价指标(权重) Index (weight)	指标说明 Instruction of index	评价方法 Evaluation method	相关文献 Reference
气候资源 Climatic resources (16%)	光能利用率 Light use efficiency (40%)	单位土地面积农作物通过光合作用所产生的有机物中所含的能量。光能利用率=产量折能/太阳总辐射×100% The ratio of energy of net primary production to absorbed photosynthetically active radiation	调查当地气象数据并结合生物产量计算 Calculation with meteorological data and investigated biomass yield	[11–12,15,18]
	热量产出率 Heat use efficiency (30%)	热量产出率=单产/≥0 ℃的积温 The ratio of crop yield to cumulative temperature ≥0 ℃	调查当地气象数据并结合生物产量计算 Calculation with meteorological data and investigated biomass yield	[11,15]
	降水产出率 Rainfall use efficiency (30%)	降水产出率=单产/年降水量×100% The ratio of crop yield to annual rainfall	调查当地气象数据并结合生物产量计算 Calculation with meteorological data and investigated biomass yield	[11–12,15,18]
水资源 Water resources (19%)	灌溉指数 Irrigation index (40%)	灌溉指数=有效灌溉面积/耕地面积×100% The ratio of effective irrigation area to cultivated land area	问卷及实地调查计算 Calculation with data from questionnaire and field survey	[15–19]
	水分生产率 Water productivity (60%)	一定的作物品种和耕作栽培条件下，单位水资源量所获得的产量或产值 The ratio of crop yield to water consumption amount	实地调查结合农事记录分析计算 Calculation with date from field survey and farming records analysis	[11–12,15,18,20]
土地资源 Land resources (24%)	垦殖指数 Reclamation rate (25%)	垦殖指数=已开垦种植的耕地面积/土地总面积。垦殖指数高则耕地开发利用程度较高 The ratio of cultivated land area to total land area	问卷及实地调查计算 Calculation with data from questionnaire and field survey	[12,20]
	土地生产率 Land productivity (50%)	土地生产率=农作物总产量/耕地面积 The ratio of crop yield to cultivated land area	问卷及实地调查计算 Calculation with data from questionnaire and field survey	[11–12,15,18–20]
	复种指数 Multi-cropping index (25%)	复种指数=全年播种(或移栽)作物的总面积/耕地总面积×100%。反映耕地利用程度 Expressed as the ratio of annual sown area to cultivated land area	问卷及实地调查计算 Calculation with data from questionnaire and field survey	[11–12,15,19–20]
生物资源 Biotic resources (15%)	生物多样性 Shannon-Wiener index (25%)	利用 Shannon-Wiener 指数表示 Expressed with Shannon-Wiener index	调查区域内植被类型并利用 Shannon-Wiener 公式计算 Investigation and calculation of plant community	[11]
	生物经济指数 Economic yield (55%)	评价生物资源农业利用有效性。指单位时间内、单位面积上某个生物品种经济产出特征值 The output value for per unit area of cultivated land	市场调查及问卷调查计算 Calculation with data from questionnaire and market survey	[11]
	秸秆还田率 Straw returning rate (20%)	包括秸秆直接还田、堆积腐熟或过腹后还田。秸秆还田率=还田秸秆量/总秸秆量×100% The ratio of returned straw amount to total straw amount	问卷及实地调查计算 Calculation with data from questionnaire and field survey	[12,15]
人工投入 Labor cost (16%)	投入产出比 Input-output ratio (40%)	投入产出比=物化劳动(肥料、农药、电力等农业资料)投入量/总产值×100% The ratio of materialized labor (agricultural materials such as fertilizers, pesticides, electricity, etc.) input to total output value	问卷调查结合农事记录分析计算 Calculation with data from questionnaire and farming records analysis	[11–12]
	劳动生产率 Labor productivity (25%)	劳动者在一定时期内创造的劳动成果与其相适应的劳动消耗量的比值。劳动生产率=单产/单位耕地面积劳动力投入量 The amount of goods and services produced by each labor in an hour	问卷调查结合农事记录分析计算 Calculation with data from questionnaire and farming records analysis	[11–12,15,18–20]
	农业科技贡献率 Contribution of scientific technology (25%)	在一定时期内，农业总产值增长量有多大比例应归功于农业科学技术的作用 The contribution of scientific technology to agricultural output increasing	问卷调查计算 Calculation with data from questionnaire	[11,20]
	农产品商品率 Agricultural commodity rate (10%)	农业从自给性生产向商品经济转化的重要指标。农产品商品率=农产品商品量/农产品总产量×100% The ratio of commercialized agricultural products amount to total agricultural production	问卷调查计算 Calculation with data from questionnaire	[11]
资源可持续性 Resources sustainability (10%)	土壤养分盈亏量 Soil nutrient balance (60%)	评价土壤肥力的变化，指一个生产周期前后土壤有机质及总养分(全氮+全磷+全钾)含量的变化情况 The change of soil fertility (soil organic matter content and total nutrients contents) before and after the cultivation	实地取样测定以获取数据。土壤肥力提高得 2 分；土壤肥力维持不变得 1 分；土壤肥力下降得 0 分 Field sampling and determination. Improvement of soil fertility is 2 points, maintenance is 1 point, decline is 0 point	[11,19]
	水环境质量 Water environmental quality (20%)	考察种植过程是否造成面源污染。种植区地表水或地下水体的 COD、铵态氮含量的变化 The change of COD and ammonium nitrogen content in surface/ground water	实地取样测定以获取数据。水环境质量维持或提高得 2 分；水环境质量恶化得 0 分 Field sampling and determination. Improvement or maintenance of water environment is 2 point, deterioration is 0 point	
	资源稳定性 Resource stability (20%)	生产过程中所需资源来源的稳定性(在连续的 3 个生产周期内资源能否持续供给、是否有替代资源) The stability of resources during the production process	问卷及实地调查进行综合评估。资源能够持续供给且有替代资源得 2 分；资源不能持续供给但有替代资源得 1 分；资源不能持续供给且无替代资源得 0 分 Questionnaire and field survey. Sustainable supply of resources with substitution is 2 points, non-sustainable but with substitution is 1 point, non-sustainable without substitution resources is 0 point	

种植(0.210)(表2)。有机种植拥有较高的垦殖指数，这归功于有机种植田块规划合理且面积更大，而常规种植田块则较为随意零散。除此之外，有机种植模式下更加注重土壤培肥，在水稻收割后及时播种紫花苜蓿等绿肥，而常规种植模式下大多以闲田方式处理休耕期，这反应为有机种植下高于常规种植的复种指数。然而，较低的有机水稻产量仍拉低了有机种植在土地生产率上的得分。

3.3 生物资源利用效率

生物(农作物)资源亦属于农业自然资源，本研究通过生物多样性指数、生物经济指数和秸秆还田率 3 个评价指标进行评价(表 1)。较高的农田植被多样性有利于昆虫的生态调控[28]，从而在害虫综合治理中发挥一定的作用。调查结果显示，有机种植下农田植被多样性指数更高(表 2)，这不仅表现为有机农场田间及田埂上更多种类的杂草、周边更大的树篱和更多的树木，还表现为有机模式下更多作物种类的种植。生物经济系数反映的是生物品种的经济产出特征值，其与农业生产获得的效益紧密相关，因此该指标组合权重较高，为 0.082 5(表 2)。虽然有机种植下土地生产率较低，但较高的有机大米售价显著提高了有机种植的生物经济系数(表 2)。有机种植普遍已实现了秸秆全量还田(秸秆还田率为 100%)，这不仅能够培肥土壤，增加土壤碳库，还能够减少温室气体排放，有利于农田的可持续发展[29]。总体来看，有机种植在生物资源利用效率方面评价得分为 0.138(小于 3 a 有机种植)、0.141(3~6 a 有机种植)和 0.150(大于 6 a 有机种植)，均要显著高于常规种植(0.099)。

3.4 人工投入效率

人类通过合理投入劳动力、科学技术、信息以及管理于自然生产过程，以提高农业的有效产出，这部分投入属于农业资源中的社会经济资源[11]。在本研究中以投入产出比、劳动生产率、科技成果转化率和农产品商品率作为人工投入要素的评价指标(表 1)。评价结果显示，有机种植下投入产出比较低，尤其在有机种植开始的前几年较为明显(表 2)。这一方面归结于较低的有机稻米产量，另一方面归结于有机种植下较高的农资投入。由于有机种植中所施用的农药、化肥必须符合有机农业标准与规范的要求，导致这部分农资实际购买成本较高。再者，所调查的大部分有机企业仅有种植环节，所需要的有机肥料必须外购，若能增加养殖、加工环节来延长有机产业链，通过产业链内部的物质循环来减少外部投入，将能有效地降低农资投入成本。有机种植在科技成果转化率上的评价分值高于常规种植(表 2)，说明新技术、新方法在有机农业上广泛应用并得到了农户的认同。新技术、新方法的使用能够在一定程度上提高自然资源利用效率，但其较高的科技转化成本却降低了社会资源利用效率。例如部分企业通过安装太阳能诱捕灯辅助病虫害防治，虽然减少了农药使用量，但诱捕灯安装和维护费用却高于减少的农药投入费用。同时，有机种植对农资投入品的限制也增加了单位耕地面积上的人工投入，例如有机种植下每 20 d 就需要进行一次人工除草，从而导致有机种植下的劳动生产率明显低于常规种植。该结果与黄惠英[30]的观点一致，即有机农业属于劳动密集型农业，但这也表明发展有机农业有利于缓解当地农民的就业矛盾。调查显示有机农产品商品率约为 45%，仅为常规种植的一半(表 2)，这在一定程度上反映了我国有机产品销售的现状。由于普通消费者对有机产品认知程度不深、有机产品价格较高以及产品结构不合理等因素[31]，有机产品在普通市场上的反响较为惨淡，大部分有机产品转而专门面向高端人群，或通过企事业单位直接订购进行销售。然而，随着民众对有机食品认知度的不断提高、有机认证制度的不断完善以及有机产品种类的丰富，这一现状将会得到逐步改善。总体来看，有机种植在人工投入评价要素上得分为 0.148(小于 3 a 有机种植)、0.151(3~6 a 有机种植)、0.151(大于 6 a 有机种植)，高于常规种植(得分 0.144)，但不同年限有机种植及常规种植间差异不大。

3.5 资源可持续性

只有实现农业发展资源的可持续利用，才能实现农业的可持续发展，这也是发展有机农业等替代农业的目地。然而，目前已有的农业资源利用效率评价指标体系大多仅从土壤肥力变化情况考虑，并未将资源可持续性提出来作为单独的评价要素。本研究将资源可持续性纳入评价准则层，并从土壤养分盈亏量、水环境质量和资源稳定性进行考察(表 1)。由于不同调查点土壤、水环境等基础条件不一致，可能导致所获得的数据不具有可比性，本研究通过人为主观打分的方式对各指标进行评价。结果显示，有机种植在一定程度上起到了改良土壤的作用，这表现为土壤有机质含量和总养分含量的提升。而对于常规种植来说，大量化学肥料的使用虽然维持了土壤养分含量，但土壤有机质却处在亏损状态。同样，常规种植中大量化学肥料的使用也在

一定程度上导致了地下水/地表水体的污染。在资源稳定性方面，有机种植和常规种植并无区别。总体来看，有机种植在资源可持续性评价要素上的得分明显高于常规种植。

3.6　农业资源综合利用效率

农业资源综合利用效率小于 3 a 有机种植得分为 0.867，与常规种植得分相当(0.857)，但随着有机种植年限的增加，其评价得分逐渐提高，当有机种植大于 6 a 时得分为 0.976，比常规种植得分提高 14%(表 2)。这说明有机农业在资源利用效率方面优于常规农业，但这种差异在有机种植前期并不明显，随着种植年限的不断延长有机模式在资源利用方面的优势才能够逐步体现，而这也正是有机种植产量逐步提高的过程。需要注意的是，衡量农业资源高效利用的标准应包括：1)节约利用资源，资源利用率高；2)有效利用资源，资源产出率高；3)投入少产出多，经济效益高；4)不造成资源退化、枯竭，可持续利用资源；5)能保持高质量的农业生态环境几个方面[32]。而目前已有的评价指标体系却未足够重视保持高质量农业环境的内容。虽然本研究单独提出了资源可持续性评价要素，但其所占评价要素分值不高(权重为 10%)，这亦淡化了有机农业最显著的特点——博大精深的环保文化内涵[7]，并在一定程度上影响了有机农业资源利用效率评价的准确性。如何对有机农业产生的环境价值进行定量评价，还需要更为广泛的研究。

表 2　湖北省水稻不同年限有机种植和常规种植农业资源综合利用效率

Table 2　Evaluation results of comprehensive utilization efficiency of agricultural resources of organic cultivation for different years and conventional cultivation of rice in Hubei Province

评价要素 Factor	评价指标 Index	指标组合权重 Combined weight	指标值 Index value				评价分值 Evaluation score			
			有机种植 Organic cultivation			常规种植 Conventional cultivation	有机种植 Organic cultivation			常规种植 Conventional cultivation
			<3 a	3~6 a	>6 a		<3 a	3~6 a	>6 a	
气候资源 Climatic resources	光能利用率 Light use efficiency (%)	0.064 0	0.37	0.44	0.49	0.51	0.131	0.143	0.156	0.160
	热量产出率 Heat use efficiency (kg·hm^{-2}·℃$^{-1}$)	0.048 0	1.63	1.64	1.69	1.74				
	降水产出率 Rainfall use efficiency (kg·hm^{-2}·mm^{-1})	0.048 0	6.21	6.67	7.44	7.53				
水资源 Water resources	灌溉指数 Irrigation index (%)	0.076 0	89	87	88	65	0.171	0.171	0.187	0.170
	水分生产率 Water productivity (kg·hm^{-2}·mm^{-1})	0.114 0	4.4	4.5	5.2	5.3				
土地资源 Land resources	垦殖指数 Reclamation rate (%)	0.060 0	87	86	88	83	0.210	0.221	0.232	0.224
	土地生产率 Land productivity (t·hm^{-2})	0.120 0	7.2	7.9	8.9	9.2				
	复种指数 Cropping index (%)	0.060 0	181	188	179	152				
生物资源 Biotic resources	生物多样性指数 Shannon-Wiener index	0.037 5	1.8	1.7	1.9	1.1	0.138	0.141	0.150	0.099
	生物经济指数 Economic yield (Yuan·hm^{-2})	0.082 5	6.3×10^4	6.8×10^4	7.2×10^4	4.6×10^4				
	秸秆还田率 Straw returning rate (%)	0.030 0	100	100	100	82				
人工投入 Labor cost	投入产出比 Input-output ratio (%)	0.064 0	1.54	1.51	1.65	1.84	0.148	0.151	0.151	0.144
	劳动生产率 Labor productivity (kg·cap.$^{-1}$)	0.040 0	1 655	1 788	2 254	2 774				
	科技成果转化率 Contribution of scientific technology (%)	0.040 0	88	87	87	52				
	农产品商品率 Agricultural commodity rate (%)	0.016 0	44	46	46	98				
资源可持续性 Resources sustainability	土壤养分盈亏量 Soil nutrient balance	0.060 0	1	2	2	1	0.100	0.100	0.100	0.060
	水环境质量 Water environmental quality	0.020 0	2	2	2	1				
	资源稳定性 Resource stability	0.020 0	2	2	2	2				
综合评价结果 Comprehensive evaluation result							0.867	0.927	0.976	0.857

4　结论

本研究基于已有的成果建立了适用于有机、常规水稻种植农业资源综合利用评价指标体系，并以湖北省水稻种植为例进行了实证研究。评价结果显示，有机水稻种植初期资源利用效率评价得分与常

规水稻种植相当，但随着有机种植年限的增加，有机模式在资源利用上的优势逐步得到体现。总体来看，限制有机水稻种植资源利用效率的主要因素为较低的稻米产量和较高的农资投入成本。因此，为了进一步提高有机种植过程中的资源利用效率，可在今后的发展中考虑以下措施：1)逐步提高有机产品产量；2)完善有机市场体系，提高有机产品商品率；3)通过政策扶持手段逐步降低科技转化成本；4)延长有机产业链，通过产业链内部的物质循环利用降低农资投入成本。最后，在今后的研究中将环境价值纳入核算体系，也将有利于更为全面、准确地评价有机农业在自然资源方面的综合利用效率。

参考文献 References

[1] 刘布春，梅旭荣，李玉中，等. 农业水资源安全的定义及其内涵和外延[J]. 中国农业科学, 2006, 39(5): 947–951
Liu B C, Mei X R, Li Y Z, et al. The connotation and extension of agricultural water resources security[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2006, 39(5): 947–951

[2] 孙永明，李国学，张夫道，等. 中国农业废弃物资源化现状与发展战略[J]. 农业工程学报, 2005, 21(8): 169–173
Sun Y M, Li G X, Zhang F D, et al. Status quo and developmental strategy of agricultural residues resources in China[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(8): 169–173

[3] 靳京，吴绍洪，戴尔阜. 农业资源利用效率评价方法及其比较[J]. 资源科学, 2005, 27(1): 146–152
Jin J, Wu S H, Dai E F. Assessment on agricultural resources efficiency: Comparison on methods and integrated approaches[J]. Resources Science, 2005, 27(1): 146–152

[4] 马卓. 中国有机农业发展现状、问题和对策[J]. 中国农学通报, 2006, 22(11): 338–342
Ma Z. Development, question and countermeasure of organic agriculture in China[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2006, 22(11): 338–342

[5] 李裕，王刚. 有机农业与可持续发展[J]. 应用生态学报, 2004, 15(12): 2377–2382
Li Y, Wang G. Organic agriculture and sustainable development[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(12): 2377–2382

[6] 王长永，王光，万树文，等. 有机农业与常规农业对农田生物多样性影响的比较研究进展[J]. 生态与农村环境学, 2007, 23(1): 75–80
Wang C Y, Wang G, Wan S W, et al. Effects of organic and conventional farming systems on farmland biodiversity[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2007, 23(1): 75–80

[7] 宗良纲，卢东，杨永岗，等. 有机农业：可持续农业发展的典范[J]. 中国人口·资源与环境, 2002, 12(3): 64–67
Zong L G, Lu D, Yang Y G, et al. Organic agriculture: Typical model of sustainable agriculture in China[J]. China Population, Resources and Environment, 2002, 12(3): 64–67

[8] 王宏燕. 全球有机农业发展现状和我国有机农业发展对策[J]. 农业系统科学与综合研究, 2003, 19(3): 223–227
Wang H Y. A brief on trends of international organic agricultural and the development strategies on organic agriculture in China[J]. System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture, 2003, 19(3): 223–227

[9] 顾绍平，王茂华，唐茂芝，等. 有机认证作为我国生态文明重要评价指标的探讨[J]. 环境保护, 2014, 42(22): 58–60
Gu S P, Wang M H, Tang M Z, et al. Investigation of organic certification as an important evaluation index of ecological civilization in China[J]. Environmental Protection, 2014, 42(22): 58–60

[10] 乔玉辉，王茂华，徐娜，等. 国际有机农业标准比较及有机认证互认潜力分析[J]. 生态经济, 2013(3): 50–52
Qiao Y H, Wang M H, Xu N, et al. Comparison of organic agricultural regulations for potential mutual recognition[J]. Ecological Economy, 2013(3): 50–52

[11] 徐勇. 农业资源高效利用评价指标体系初步研究[J]. 地理科学进展, 2001, 20(3): 240–246
Xu Y. A study on the evaluation index system of agricultural resources effective utility[J]. Progress in Geography, 2001, 20(3): 240–246

[12] 李道亮，丁娟娟，傅泽田，等. 农业资源综合利用效率的评价方法及案例分析[J]. 中国农业大学学报，1999, 4(2): 19–22
Li D L, Ding J J, Fu Z T, et al. Appraisal method and case study on comprehensive utility efficiency of agricultural resources[J]. Journal of China Agricultural University, 1999, 4(2): 19–22

[13] 谢高地，章予舒，齐文虎. 农业资源高效利用评价模型与决策支持[M]. 北京：科学出版社, 2002
Xie G D, Zhang Y S, Qi W H. Evaluation Model and Decision Support of Efficient Uilization of Agricultural Resources[M]. Beijing: Science Press, 2002

[14] 曹凑贵，蔡明历，张似松，等. 湖北省水稻生产现状及技术对策[J]. 湖北农业科学, 2004(4): 28–30
Cao C G, Cai M L, Zhang S S, et al. The rice production present situation and technical countermeasures of Hubei Province[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2004(4): 28–30

[15] 宋伟，陈百明，陈曦炜，等. 农业资源利用效率的重新诠释与评价——以江苏省常熟市和江西省泰和县为例[J]. 地理科学进展, 2010, 29(3): 319–326
Song W, Chen B M, Chen X W, et al. Reinterpretation and evaluation for use efficiency of agricultural resources: A case study of Changshu in Jiangsu Province and Taihe in Jiangxi Province[J]. Progress in Geography, 2010, 29(3): 319–326

[16] 刘军. 湖南省农业资源利用综合评价研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(6): 96–102
Liu J. Evaluation study on agricultural resources utilization in Hunan Province[J]. China Population, Resources and Environment, 2012, 22(6): 96–102

[17] 刘军. 湖南省农业资源可持续利用评价研究[J]. 江西农业大学学报：社会科学版, 2011, 10(3): 65–70
Liu J. Evaluating sustainable utilization of agricultural resources in Hunan[J]. Journal of Jiangxi Agricultural University, Social Sciences Edition, 2011, 10(3): 65–70

[18] 郑海霞, 封志明, 张陆彪, 等. 甘肃省县域农业资源利用效率综合评价——基于遗传投影寻踪方法[J]. 经济地理, 2006, 26(4): 632–635
Zheng H X, Feng Z M, Zhang L B, et al. Comprehensive evaluation of agricultural resources use efficiency on county level of Gansu Province—Based on genetic projection pursuit model[J]. Economic Geography, 2006, 26(4): 632–635
[19] 周小萍, 陈百明, 周常萍. 区域农业资源可持续利用模式及其评价研究[J]. 经济地理, 2004, 24(1): 85–90
Zhou X P, Chen B M, Zhou C P. The research of regional agricultural resources sustainable utilization pattern and evaluation[J]. Economic Geography, 2004, 24(1): 85–90
[20] 黄祖辉, 林本喜. 基于资源利用效率的现代农业评价体系研究——兼论浙江高效生态现代农业评价指标构建[J]. 农业经济问题, 2009, 31(11): 20–27
Huang Z H, Lin B X. Study on the modern agriculture evaluation based on the efficiency of resource utilization: Also on the construction of evaluation index of Zhejiang high-efficiency ecological modern agriculture[J]. Issues in Agricultural Economy, 2009, 31(11): 20–27
[21] 徐勇. 农业资源高效利用评价的程序、内容及方法[J]. 资源科学, 1998, 20(5): 12–17
Xu Y. Proceduers, contents and methods for evaluating the effective utilization of agricultural resources[J]. Resources Science, 1998, 20(5): 12–17
[22] Denison R F, Bryant D C, Kearney T E. Crop yields over the first nine years of LTRAS, a long-term comparison of field crop systems in a Mediterranean climate[J]. Field Crops Research, 2004, 86(2/3): 267–277
[23] Conyers M K, Mullen C L, Scott B J, et al. Long-term benefits of limestone applications to soil properties and to cereal crop yields in southern and central New South Wales[J]. Australian Journal of Experimental Agriculture, 2003, 43(1): 71–78
[24] Smith R G, Gross K L, Robertson G P. Effects of crop diversity on agroecosystem function: Crop yield response[J]. Ecosystems, 2008, 11(3): 355–366
[25] 席运官, 钦佩, 丁公辉. 有机与常规种植稻米品质及安全性的分析与评价[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(3): 454–458
Xi Y G, Qin P, Ding G H. Analysis and evaluation on quality and safety of organic and conventional rice[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2006, 12(3): 454–458
[26] 唐政, 陈小香. 有机农业与常规农业作物产量比较研究[J]. 农业环境与发展, 2012(4): 7–10
Tang Z, Chen X X. Comparative study on yield of organic agriculture and conventional agriculture[J]. Agro-Environment & Development, 2012(4): 7–10
[27] Belder P, Bouman B A M, Cabangon R, et al. Effect of water-saving irrigation on rice yield and water use in typical lowland conditions in Asia[J]. Agricultural Water Management, 2004, 65(3): 193–210
[28] 周海波, 陈巨莲, 陈登发, 等. 农田生物多样性对昆虫的生态调控作用[J]. 植物保护, 2012, 38(1): 6–10
Zhou H B, Chen J L, Chen D F, et al. Effects of ecological regulation of biodiversity on insects in agroecosystems[J]. Plant Protection, 2012, 38(1): 6–10
[29] 逯非, 王效科, 韩冰, 等. 稻田秸秆还田: 土壤固碳与甲烷增排[J]. 应用生态学报, 2010, 21(1): 99–108
Lu F, Wang X K, Han B, et al. Straw return to rice paddy: Soil carbon sequestration and increased methane emission[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(1): 99–108
[30] 黄惠英. 中国有机农业及其产业化发展研究——以北京市为例[D]. 成都: 西南财经大学, 2013
Huang H Y. Research on organic agriculture and industrialization development in China: Taking Beijing as an example[D]. Chengdu: Southwestern University of Finance and Economics, 2013
[31] 叶博, 金丹, 张雪峰. 我国有机食品发展现状与改进措施[J]. 农业科技与装备, 2012(1): 78–80
Ye B, Jin D, Zhang X F. Actuality and improvement of organic food in China[J]. Agricultural Science & Technology and Equipment, 2012(1): 78–80
[32] 封志明, 李飞, 刘爱民, 等. 农业资源高效利用研究中的若干问题[J]. 资源科学, 1998, 20(5): 1–6
Feng Z M, Li F, Liu A M, et al. Some problems in the study of efficient utilization of agricultural resources[J]. Resources Science, 1998, 20(5): 1–6